

Chulalongkorn University

Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2021

การศึกษาการจำลองเปรียบเทียบกับโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงประเภท รับแสงสองด้านด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์

พิมพ์พร โกมล
บัณฑิตวิทยาลัย

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>

Recommended Citation

โกมล, พิมพ์พร, "การศึกษาการจำลองเปรียบเทียบกับโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้านด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์" (2021). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 7759.
<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/7759>

This Independent Study is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การศึกษาการจำลองเปรียบเทียบโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้านด้วย
ระบบติดตามแสงอาทิตย์



สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัด
การพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE COMPARATIVE SIMULATION STUDY OF SOLAR POWER USING BIFACIAL PV PANEL
WITH TRACKING SYSTEM



An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management
Inter-Department of Energy Technology and Management

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์

การศึกษาการจำลองเปรียบเทียบโครงการพลังงาน
แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้านด้วยระบบ
ติดตามแสงอาทิตย์

โดย

น.ส.พิมพ์พร โกพล

สาขาวิชา

เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

รองศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พิมพ์พร โกพล : การศึกษาการจำลองเปรียบเทียบโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผง
 ประเภทรับแสงสองด้านด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์. (THE COMPARATIVE
 SIMULATION STUDY OF SOLAR POWER USING BIFACIAL PV PANEL WITH
 TRACKING SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทรับแสงสองด้าน คือแผงที่สามารถรับแสงที่ตกกระทบต่อ
 พื้นผิวหน้าแผงโดยตรง และยังสามารถรับแสงที่สะท้อนมาจากพื้นใต้แผง ทำให้แผงประเภทนี้
 สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแผงทั่วไปที่รับแสงได้เพียงด้านเดียว ทั้งนี้ค่าการสะท้อนพื้นหญ้าปกติ
 ของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะอยู่ที่ 0.2 ซึ่งค่าการสะท้อนจากพื้นดินมีผลโดยตรง
 ต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทรับแสงสองด้าน ซึ่งถ้าหากสามารถเพิ่มค่าการสะท้อนใต้แผงให้
 มากขึ้น ย่อมส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทรับแสงสองด้าน มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี
 ขึ้น การศึกษานี้ทำการเปรียบเทียบผลการสะท้อนจากวัสดุปูพื้นที่มีค่าการสะท้อนแตกต่างกัน โดย
 จำลองผลผลิตไฟฟ้าจากโปรแกรม PVSyst และเปรียบเทียบต้นทุนในการลงทุนด้วยวิธีประเมินต้นทุน
 โครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทรับแสงสองด้าน ที่ทำงาน
 ด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบตั้งเวลา 3 กรณี ได้แก่ พื้นหญ้า พื้นทราย และหินกรวด โดย
 เปรียบเทียบกับโครงการที่ใช้แผงแบบทั่วไปที่รับแสงเพียงด้านเดียว การศึกษาพบว่าโครงการที่ใช้
 แผงแบบรับแสงสองด้าน และทำการปูพื้นด้วยหินกรวดมีค่าการสะท้อน 0.4 ส่งผลให้แผงสามารถ
 ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด ทำให้โครงการมีอัตราผลตอบแทนภายในสูงสุด 16.91% แม้จะมีมูลค่าการ
 ลงทุนอยู่ที่ 135.93 ล้านบาท ซึ่งสูงที่สุดก็ตาม และเมื่อเปรียบเทียบหาอัตราผลตอบแทนภายใน
 ส่วนเพิ่ม (Incremental internal rate of return) กับโครงการที่ใช้แผงทั่วไป ทำให้โครงการมี
 ผลตอบแทนที่มากขึ้นถึง 43.31%

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัด
 การพลังงาน (สหสาขาวิชา)

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6087514320 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD: Bifacial PV panel, Albedo, Cost estimation, Internal rate of return

Pimporn Kopol : THE COMPARATIVE SIMULATION STUDY OF SOLAR POWER
USING BIFACIAL PV PANEL WITH TRACKING SYSTEM. Advisor: Assoc. Prof.
SUTHAS RATANAKUAKANGWAN

Bifacial photovoltaic panel (bifacial PV panel) is solar cell which can receive both direct incident light on the front surface and the light reflected from the ground on the back surface which allows it to have higher efficiency than standard monofacial panel. Albedo is a ratio of the light being reflected from the ground to the back surface and thus the albedo ratio directly affects performance of the bifacial PV panel. The higher albedo ratio is, the more output the panel can produce. The standard albedo for grass-type ground widely used for solar power plant projects is around 0.2. This study compares various types of surface material with different albedo. The surface materials to be compared consists of grass, sand, and gravel. The energy outputs from the different materials are simulated from PVsyst program. The investment cost of the solar power plant with bifacial PV panel along with single-axis tracking system and conventional monofacial system are then compared. Results from the study showed that the bifacial panel using gravel with the albedo value of 0.4 has the highest yield. Despite having the highest investment cost among alternatives (135.93 m.THb), using gravel as a ground material has the highest internal rate of return (16.91%). Comparative study with the monofacial system using the incremental rate of return indicated that the bifacial PV panel with gravel has 43.31% higher rate.

Field of Study: Energy Technology and
Management

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยสำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตน์เกื้อกังวาน อาจารย์ที่ปรึกษา และคุณสุดพล รัตน์เกื้อกังวาน ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของท่านทั้งสองและขอกราบขอบพระคุณไว้อย่างสูง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ผู้สอนในหลักสูตรสหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงานทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัย

พิมพ์พร โกพล



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ปัญหาที่เกิดขึ้น ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	3
2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel).....	3
2.3 ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel)	4
2.4 ราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel)	5
2.5 โปรแกรมจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์ PVsyst	6
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.6.1 การศึกษาค่าสะท้อนของวัสดุ (Albedo).....	7
2.6.2 การศึกษาการลงทุนโครงการพลังงานแสงอาทิตย์.....	9
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....	10

3.1 สมมติฐานในการดำเนินงาน.....	10
3.2 ข้อจำกัดการศึกษา.....	10
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	10
บทที่ 4 ผลการทดลอง	13
4.1 ต้นทุนของโครงการ.....	13
4.2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (CAPEX)	15
4.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (OPEX).....	16
4.4 การจำลองผลผลิตไฟฟ้าผ่านโปรแกรม PVsyst.....	18
4.5 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit cost).....	24
4.6 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการ (Life cycle cost).....	25
4.7 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return).....	30
4.8 อัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม (Incremental internal rate of return)	32
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	1
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	1
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	2
บรรณานุกรม.....	3
ประวัติผู้เขียน.....	6

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	12
ตารางที่ 4-1 รายการและค่าใช้จ่ายของโครงการ	14
ตารางที่ 4-2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (CAPEX)	15
ตารางที่ 4-3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (OPEX)	17
ตารางที่ 4-4 ผลผลิตไฟฟ้ตลอดอายุโครงการ	23
ตารางที่ 4-5 ต้นทุนต่อหน่วย (Unit cost)	24
ตารางที่ 4-6 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 1 ใช้แฟงทั่วไปและปูพื้นหญ้า	26
ตารางที่ 4-7 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 2 ใช้แฟงรับแสงสองด้านและปูพื้นหญ้า	27
ตารางที่ 4-8 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 3 ใช้แฟงรับแสงสองด้านและปูพื้นทราย	28
ตารางที่ 4-9 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 4 ใช้แฟงรับแสงสองด้านและปูพื้นหินกรวด	29
ตารางที่ 4-10 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) โครงการที่ 1 ใช้แฟงทั่วไปและปูพื้นหญ้า	30
ตารางที่ 4-11 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) โครงการที่ 2 ใช้แฟงรับแสงสองด้านและปูพื้นหญ้า	31
ตารางที่ 4-12 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) โครงการที่ 3 ใช้แฟงรับแสงสองด้านและปูพื้นทราย	31
ตารางที่ 4-13 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) โครงการที่ 4 ใช้แฟงรับแสงสองด้านและปูพื้นหินกรวด	31
ตารางที่ 4-14 อัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม (Incremental Internal rate of return) โครงการที่ 2 ใช้แฟงรับแสงสองด้านและปูพื้นหญ้า	32
ตารางที่ 4-15 อัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม (Incremental Internal rate of return) โครงการที่ 3 ใช้แฟงรับแสงสองด้านและปูพื้นทราย	32

ตารางที่ 4-16 อัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม (Incremental Internal rate of return) โครงการ ที่ 4 ใช้แสงรับแสงสองด้านและปูพื้นหินกรวด	33
--	----



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 กระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	3
รูปที่ 2-2 เปรียบเทียบการทำงานของแผงรับแสงสองด้าน และแผงทั่วไป [2].....	4
รูปที่ 2-3 ส่วนประกอบของแผงรับแสงสองด้าน และแผงทั่วไป [3]	5
รูปที่ 2-4 ราคาแผงรับแสงสองด้าน และแผงทั่วไป ปีค.ศ. 2016-2022 [4].....	5
รูปที่ 2-5 ภาพตัวอย่างที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม PVsyst.....	6
รูปที่ 2-6 ค่าการสะท้อนของวัสดุ [7].....	7
รูปที่ 2-7 ค่าการสะท้อนของหินกรวดขนาดต่าง ๆ กัน [8]	8
รูปที่ 2-8 ค่าการสะท้อนของวัสดุ [9].....	8
รูปที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	11
รูปที่ 4-1 ผลจากการจำลอง PVsyst โครงการ 1 ใช้แผงทั่วไปและพื้นที่ได้แผงเป็นพื้นหญ้า.....	19
รูปที่ 4-2 ผลจากการจำลอง PVsyst ของ โครงการ 2 ใช้แผงรับแสงสองด้านและพื้นที่ได้แผงเป็นพื้นหญ้า.....	20
รูปที่ 4-3 ผลจากการจำลอง PVsyst โครงการ 3 ใช้แผงรับแสงสองด้านและพื้นที่ได้แผงเป็นพื้นทราย	21
รูปที่ 4-4 ผลจากการจำลอง PVsyst โครงการ 4 ใช้แผงรับแสงสองด้านและพื้นที่ได้แผงเป็นพื้นหินกรวด	22
รูปที่ 4-5 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 1 ใช้แผงทั่วไปและปูพื้นหญ้า	26
รูปที่ 4-6 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 2 ใช้แผงรับแสงสองด้านและปูพื้นหญ้า.....	27
รูปที่ 4-7 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 3 ใช้แผงรับแสงสองด้านและปูพื้นทราย.....	28
รูปที่ 4-8 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 4 ใช้แผงรับแสงสองด้านและปูพื้นหินกรวด.....	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาที่เกิดขึ้น ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

การใช้งานด้านพลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งพลังงานที่นิยมและแพร่หลายอย่างมาก ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ทั้งในรูปแบบการให้ความร้อนและผลิตไฟฟ้า ในแง่ของการผลิตไฟฟ้านั้นพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่ามีแนวโน้มการใช้งานสูงขึ้นอย่างมากจากอดีต เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดและขั้นตอนในการผลิตไฟฟ้าไม่มีการก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อมีการใช้งานที่มากขึ้นย่อมส่งผลให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีส่วนอุปกรณ์และระบบต่างๆ เพื่อให้ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นตามไปด้วย โดยเทคโนโลยีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ปัจจุบัน นับว่าก้าวหน้ามากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแผงที่ประสิทธิภาพดีที่สุดตอนนี้คือ แผงประเภทรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel) ซึ่งต่างจากแผงแบบทั่วไปคือ สามารถรับแสงทั้งจากผิวด้านหน้าและแสงที่สะท้อนจากพื้นดินได้ ทำให้แผงชนิดนี้ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแผงแบบทั่วไปประมาณ 15-20% ทั้งนี้ยังใช้พื้นที่น้อยกว่าในกำลังการผลิตติดตั้งที่เท่ากัน ส่งผลให้โครงการพลังงานแสงอาทิตย์หันมาใช้แผงประเภทนี้มากขึ้น เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพของโครงการ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การหาวิธีเพิ่มผลการผลิตไฟให้โครงการพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน โดยทำการเปลี่ยนวัสดุที่ปูบนพื้นผิวของโครงการด้วยวัสดุต่าง ๆ โดยจะเลือกวัสดุที่มีค่าการสะท้อน (Albedo) ที่สูงกว่าพื้นหญ้า ซึ่งเป็นพื้นผิวได้แสงของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั่วไป และเมื่อเปลี่ยนพื้นผิวเป็นวัสดุนั้นแล้วโครงการฯ ยังสามารถทำการบำรุงรักษาได้ง่าย อีกทั้งมีต้นทุนที่ไม่มากเกินไป ได้แก่ หวาย และ หินกรวด ซึ่งเป็นวัสดุตามธรรมชาติ โดยจะใช้พื้นหญ้าเป็นพื้นปกติของโครงการทั่วไป เพื่อเปรียบเทียบว่าการเปลี่ยนวัสดุที่ปูได้แสงพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทรับแสงสองด้านนั้นจะส่งผลให้โครงการฯ สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นหรือไม่ และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเท่าไร เพื่อนำไปเป็นข้อมูลประกอบพิจารณาการลงทุน

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้านด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ข้อมูลที่จะนำมาศึกษาโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 5 เมกกะวัตต์ ที่ทำงานด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบตั้งเวลา (Tracking System) ที่ใช้แผงขนาด 440 วัตต์ ทั้งหมด 4 โครงการ ดังนี้
 - โครงการที่ 1 ใช้แผงประเภททั่วไป (Monofacial PV panel) พื้นผิวได้แสงคือพื้นหญ้า
 - โครงการที่ 2 ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel) พื้นผิวได้แสงคือพื้นหญ้า
 - โครงการที่ 3 ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel) วัสดุปูพื้นได้แสง คือทราย
 - โครงการที่ 4 ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel) วัสดุปูพื้นได้แสง คือหินกรวด
2. สมมติฐานการศึกษา โครงการมีที่ตั้งในภาคกลางของประเทศไทย อายุโครงการ 25 ปี โดยอ้างอิงราคาของอุปกรณ์จากผู้ผลิตชั้นนำ ราคาเช่าที่ดินจากราคาเฉลี่ยของพื้นที่ตั้งใกล้เคียงโครงการ คัดรายได้ค่าไฟจากค่าพลังงานไฟฟ้าขายส่งเฉลี่ยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และมีอัตราก้าวหน้า 5% ทุก 3 ปี และโครงการสามารถจำหน่ายไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ ค่าการสะท้อนของพื้นจะใช้เฉลี่ยตามมาตรฐานของแต่ละวัสดุ
3. จำลองผลผลิตไฟของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านโปรแกรม PVsyst และคำนวณหาผลผลิตตลอด 25 ปี โดยใช้อัตราการลดลงของประสิทธิภาพแผงตามข้อมูลจากผู้ผลิตแผง
4. วิเคราะห์ข้อมูลทางด้านต้นทุน ด้วยวิธี ประเมินต้นทุน (Cost estimation), ต้นทุนต่อหน่วย (Unit cost) ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการ (Life cycle cost) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) และเปรียบเทียบโครงการทั้ง 4 โครงการ ด้วยวิธี Incremental IRR

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

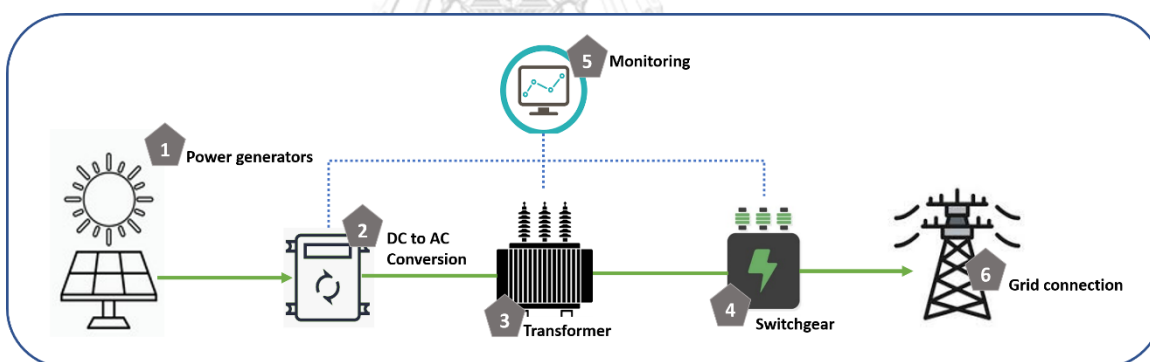
1. เพิ่มทางเลือกในการลงทุนในการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์
2. ทราบการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel) เมื่อเปลี่ยนวัสดุการสะท้อนได้แสง
3. ผู้ลงทุน นำผลที่ได้จากการศึกษาการลงทุนสร้างโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ไปประกอบพิจารณาการลงทุน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

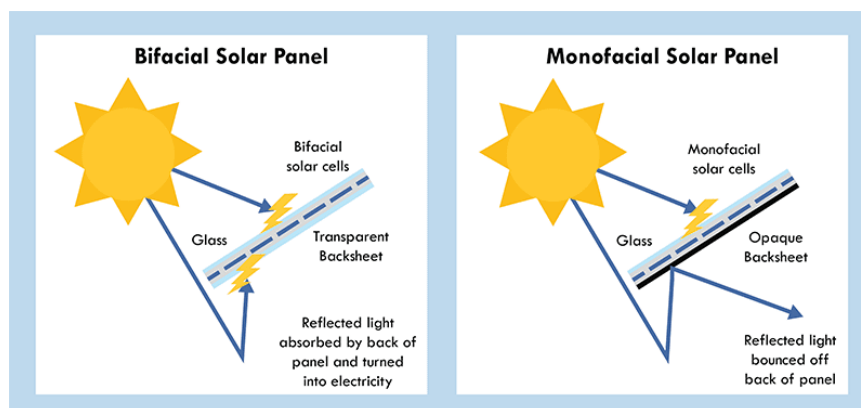
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จัดอยู่ในประเภทพลังงานทดแทน โดยกระบวนการทำงานหลักของโครงการฯ จะเกิดขึ้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar PV panel) เมื่อมีรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ หรือ แสง (Electromagnetic radiation) มาตกกระทบที่แผงซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) พลังงานส่วนหนึ่งของแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง [1] โดยเครื่องอินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะทำการแปลงกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ และไฟฟ้าจะถูกรวบรวมกระแสโดยกล่องรวมสายไฟ (Combiner box) ซึ่งในกล่องนี้จะมีระบบรักษาความปลอดภัย และส่งต่อกระแสไฟฟ้าไปยังหม้อแปลง (Transformer) เพื่อเพิ่มระดับแรงดัน และกระแสไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกรวมมาที่สวิตช์เกียร์ (Switchgear) ซึ่งมีหน้าที่เป็นวงจรป้องกันความปลอดภัยของระบบ ก่อนจะส่งกระแสไฟฟ้าเข้าระบบโครงข่าย (Grid connection) เพื่อส่งต่อยังโหนดการใช้งานต่อไป โดยการทำงานของโครงการทั้งหมดจะควบคุมผ่านระบบควบคุม (Monitoring system)



รูปที่ 2-1 กระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบรับแสงสองด้าน คือแผงที่สามารถรับแสงอาทิตย์โดยตรงจากพื้นผิวด้านหน้า และแสงสะท้อนจากด้านหลังของแผงส่งผลให้ตัวแผงผลิตพลังงานได้มากขึ้น ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไปนั้นสามารถรับแสงจากพื้นผิวด้านหน้าของแผงเท่านั้น ทำให้แผงประเภทรับแสงสองด้านผลิตไฟได้มากกว่าแผงแบบทั่วไปประมาณ 15-20% ทั้งนี้ยังใช้พื้นที่น้อยกว่าในกำลังการผลิตติดตั้งที่เท่ากัน [2]

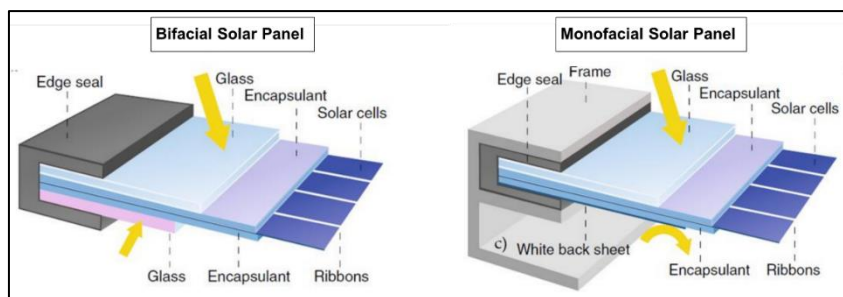


รูปที่ 2-2 เปรียบเทียบการทำงานของแผงรับแสงสองด้าน และแผงทั่วไป [2]

2.3 ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทรับแสงสองด้าน มีส่วนประกอบคล้ายกันกับแผงแบบทั่วไป ข้อแตกต่างเพียงอย่างเดียวคือ ด้านหลังของแผงประเภทรับแสงสองด้าน เป็นกระจกโปร่งใส ซึ่งแผงแบบทั่วไบนั้นจะเป็นแผ่น Back sheet ทั้งนี้การที่ด้านหลังแผงเป็นกระจกนั้นยังช่วยปกป้องแผงจากสภาพแวดล้อม จึงมีความทนทาน ส่งผลให้มีอายุการใช้งานสูงกว่าและมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าแผงแบบมาตรฐาน [3] โดยหน้าที่แต่ละส่วนของแผงทำหน้าที่ดังนี้

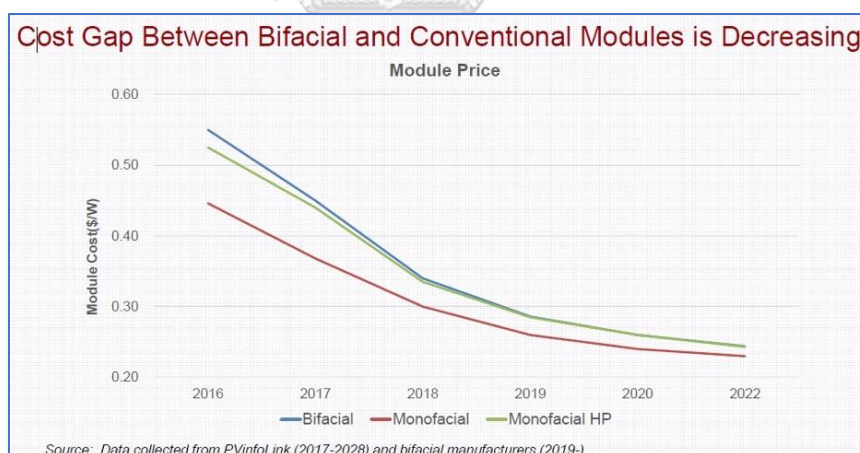
1. Edge seal คือ ชิ้นส่วนที่ใช้ในการปิดผนึกขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อป้องกันไม่ให้มีอากาศหรือความชื้นเข้าไปในตัวแผง เพื่อรักษาอายุการใช้งานของแผงให้ยาวนาน
2. Glass เป็น กระจกที่เป็นชิ้นส่วนสำหรับ ป้องกันเซลล์ที่เป็น สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ของแผงโดยที่แสงยังสามารถผ่านเข้าไปตกกระทบบถึงเซลล์ด้านในได้
3. Encapsulant คือวัสดุเคลือบผิวของเซลล์ และยังช่วยในการยึดตัวเซลล์เข้ากับกระจกด้านหน้าและแผ่นปิดด้านหลัง
4. Solar cell คือ เซลล์ที่ผลิตจากวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ โดยวัสดุที่นิยมใช้คือ คริสตัลไลน์ ซิลิคอน (c-Si) ซึ่งธาตุซิลิคอนมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าช่องว่างพลังงาน (Band gap) ที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ชิ้นส่วนนี้เป็นส่วนประกอบหลักที่ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าของแผง
5. Ribbon เป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่วางตัดหน้าเซลล์ ทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาและนำไฟฟ้าที่ได้ส่งออกไปยังอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ วัสดุที่ใช้ทำ Ribbon นิยมทำมาจากธาตุเงิน (Silver) หรือธาตุอื่นๆที่มีคุณสมบัติในการนำพากระแสไฟฟ้าสูง



รูปที่ 2-3 ส่วนประกอบของแผงรับแสงสองด้าน และแผงทั่วไป [3]

2.4 ราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบรับแสงสองด้าน (Bifacial PV panel)

เทคโนโลยี Bifacial ได้รับการพัฒนาในปี ค.ศ. 1970 มีการใช้งานการตลาดเพียงเล็กน้อย เนื่องจากต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงและโครงสร้างกระจกสองชั้นทำให้แผงมีน้ำหนักมากขึ้น แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตแผงนั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงมีการพัฒนาแผงประเภทรับแสงสองด้านมากขึ้นด้วย จึงทำให้ราคาแผงประเภทนี้ถูกลง โดยที่ราคาต่อวัตต์สูงสุด (Watt peak) นั้นแทบจะใกล้เคียงกับแผงแบบทั่วไปแล้ว โดยช่วงปี ค.ศ. 2016-2018 เป็นช่วงที่ราคาแผงประเภทรับแสงสองด้าน ปรับลดลงอย่างมาก จาก 0.55 USD/วัตต์ เป็น 0.32 USD/วัตต์ และลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงปี 2021 ราคาอยู่ที่ 0.23 USD/วัตต์ [4]



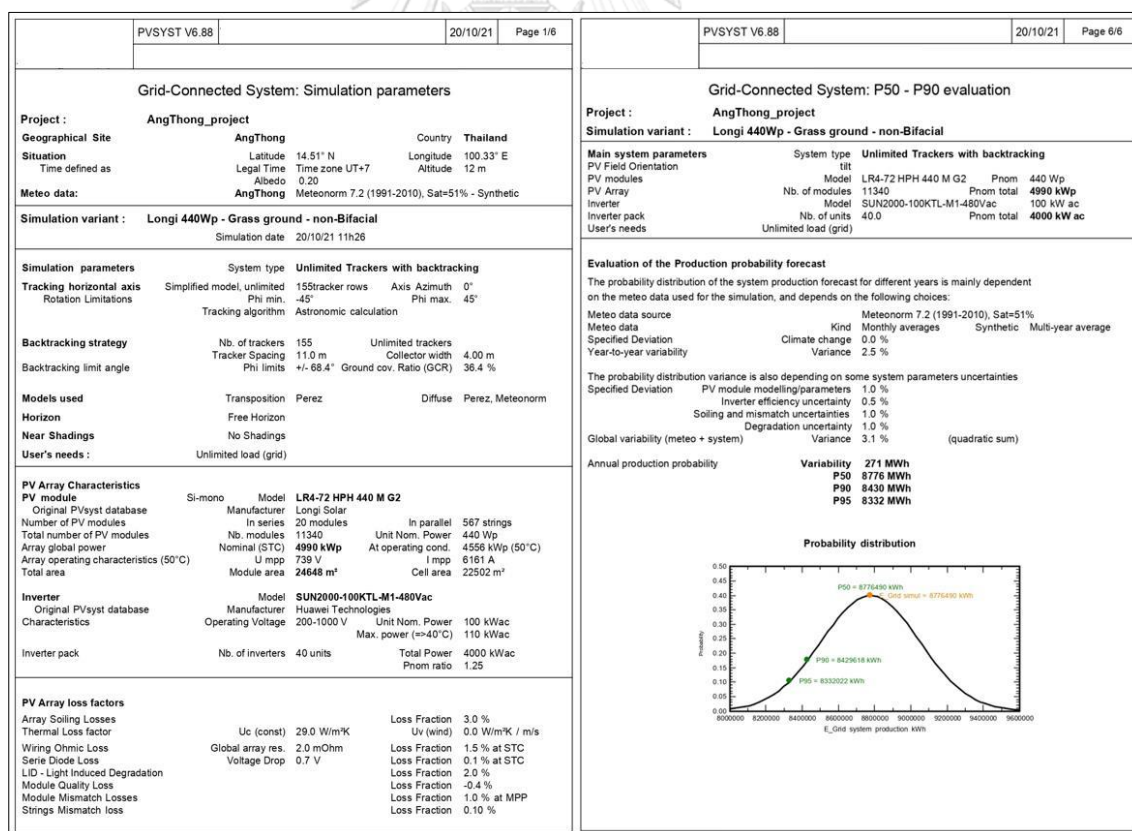
รูปที่ 2-4 ราคาแผงรับแสงสองด้าน และแผงทั่วไป ปีค.ศ. 2016-2022 [4]

อีกทั้งและหากนำแผงประเภทรับแสงสองด้านไปติดตั้งด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์ (Tracking system) จะสามารถเพิ่มผลผลิตได้ถึง 40% เนื่องจากการติดตั้งแบบปกตินั้นจะถูกจำกัดเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับแสงได้เต็มที่เพราะองศาของดวงอาทิตย์นั้นเปลี่ยนแปลงตามเวลาระหว่างวัน หลักการทำงานของระบบแบบติดตามแสงอาทิตย์ คือในระหว่างวันตัวเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะถูก

หมุนไปหาดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ซึ่งจะเพิ่มค่าพลังงานจากที่ได้รับจากรังสีชนิดตรง เพราะพลังงานจากรังสีชนิดตรงจะได้รับมากที่สุดก็ต่อเมื่อองศาของแผงนั้นหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ [5]

2.5 โปรแกรมจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์ PVsyst

PVsyst เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ถูกพัฒนาขึ้นโดย Andre Mermoud and Michel Villoz ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลังงาน โดยโปรแกรมจะคำนวณผลผลิตที่คาดว่าจะสามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์จากคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ป้อนข้อมูลเข้าไปในระบบ โดยที่สามารถเลือกข้อมูลของอุปกรณ์ตามรายชื่อผลิตภัณฑ์และผู้ผลิตได้ ตัวอย่าง เช่น แผงพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ ทั้งนี้ยังสามารถระบุ ความสูงโครงสร้าง และระยะห่างแถว พิกัดสถานที่ตั้งโครงการ ค่าการสะท้อนพื้นผิว ระบบการทำงานแบบถาวรหรือติดตามแสงอาทิตย์ (Fixed/Tracking) รวมถึงมีการใช้ข้อมูลแสงแดดในอดีตมาประเมินร่วมด้วย เพื่อให้ได้ผลจำลองที่ใกล้เคียงความจริงที่สุด ถ้าหากกำหนดค่าต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกับระบบที่จะติดตั้งจริงก็จะยิ่งทำให้ผลจำลองนั้นใกล้เคียงกับความเป็นจริงได้มากขึ้น ซึ่งผลจำลองจากโปรแกรมนี้นสามารถนำไปวิเคราะห์ได้หลายอย่าง เช่น ประเมินความเสี่ยงการลงทุน [6]

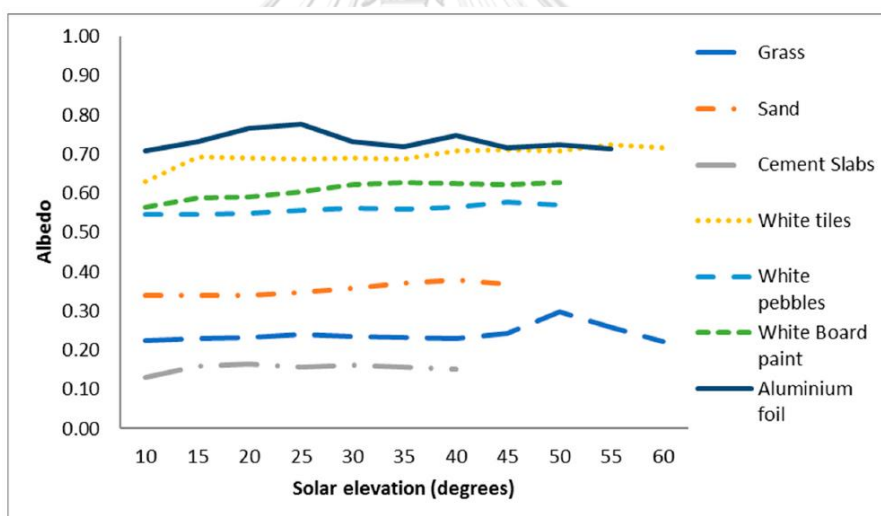


รูปที่ 2-5 ภาพตัวอย่างที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม PVsyst

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

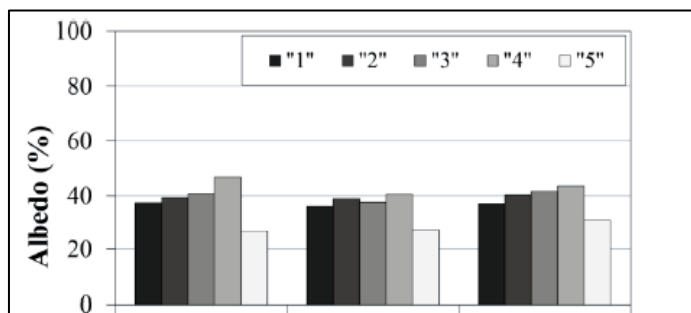
2.6.1 การศึกษาค่าสะท้อนของวัสดุ (Albedo)

ในการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทรับแสงสองด้าน และการสะท้อนของพื้นผิวด้วยวัสดุต่างๆ พบว่ามีการศึกษาค่าสะท้อนของวัสดุหลายชนิดที่ปูบนพื้นผิวแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยปกติแล้วค่าการสะท้อน (albedo) ของพื้นปกติที่ใช้ในการจำลองผลจะอยู่ที่ประมาณ 0.2 ซึ่งพื้นผิวแต่ละชนิด และภูมิประเทศที่แตกต่างกันก็ส่งผลให้ค่าการสะท้อนแตกต่างกัน การศึกษานี้ทำการทดลองอยู่ในโซนซีกโลกเหนือ ซึ่งมีท้องฟ้าครึ้มเป็นปริมาณมาก เพราะฉะนั้นการสะท้อนของพื้นผิวจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ การศึกษานี้ได้ทำการปูพื้นผิวด้วยวัสดุต่าง ๆ คือ พื้นหญ้า หวาย พื้นคอนกรีต รวมถึงวัสดุกรวดขาว กระดาษขาว กระเบื้องสีขาว และพอยออลูมิเนียม โดยการวิเคราะห์นั้นจะรวมถึงการศึกษาผลกระทบจากอายุการใช้งาน องศาของดวงอาทิตย์ และสภาพอากาศด้วย [7] ซึ่งค่าการสะท้อนของวัสดุมีค่าดังรูปที่ 2-6



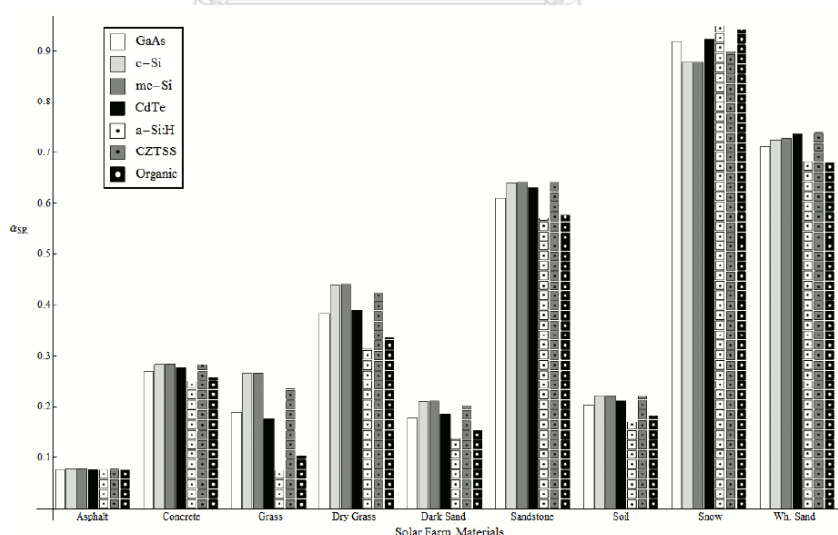
รูปที่ 2-6 ค่าการสะท้อนของวัสดุ [7]

ทั้งนี้ก็งานวิจัยได้ศึกษาการสะท้อนของหินกรวด โดยมีแรงจูงใจมาจากการใช้หินปูพื้นด้านบนห้องหรือพื้นที่ที่ต้องการเก็บความเย็นในพื้นที่เยือกแข็ง เนื่องจากการเก็บความเย็นในชั้นใต้ผิวดินนั้น ความเย็นจะถูกที่ให้ลดลงถ้าระดับการดูดซับแสงแดดของพื้นผิวมาก การปูหินจึงสามารถช่วยสะท้อนแสงได้ จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บความเย็นของพื้น ผลงานวิจัยนั้นสรุปได้ว่าระดับการสะท้อนของหินกรวดนั้นมีความเกี่ยวข้องกับขนาดของหินโดยทดสอบกับหินขนาด 1 เซนติเมตร ถึง 5 เซนติเมตร โดยที่หินขนาดใหญ่จะสามารถสะท้อนแสงได้น้อยลง เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างหินเยอะขึ้น โดยค่าเฉลี่ยของค่าการสะท้อนของหินกรวดคือ 0.4 [8]



รูปที่ 2-7 ค่าการสะท้อนของหินกรวดขนาดต่าง ๆ กัน [8]

การศึกษาผลของการสะท้อนจากพื้นผิวที่มีผลต่อแผงพลังงานหลาย ๆ ประเภท โดยชนิดของพื้นผิวนั้นเลือกมาจากวัสดุที่สามารถพบได้ทั่วไปสำหรับการติดตั้งโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าแก้อาติถัยแบบติดตั้งบนพื้นดิน และแบบบนอาคารที่มีแดดฟ้าเป็นผิวเรียบ และโซลาร์รูฟท็อปสำหรับหลังคาครัวเรือน การศึกษานั้นได้ยกตัวอย่างวัสดุพื้นผิว 22 ชนิด นำมาทดสอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 7 ชนิด และนำมาคำนวณค่าการสะท้อน (Effective albedo) ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า หิมะนั้นมีค่าการสะท้อนที่สูงที่สุดและรองลงมาคือทรายสีขาว ซึ่งชนิดแผงที่ต่างกันก็ได้ค่าที่ต่างกัน โดยผลวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการเลือกชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะนำมาใช้โดยการประเมินจากสภาพแวดล้อมของวัสดุโดยรอบของพื้นที่ที่ติดตั้ง [9]



รูปที่ 2-8 ค่าการสะท้อนของวัสดุ [9]

แม้ว่าจากการศึกษางานวิจัยจะพบว่าวัสดุที่มีค่าการสะท้อนมากคือ ฟอยอลูมิเนียม หรือ ทรายขาว เป็นต้น แต่ในระยะยาวการเลือกวัสดุปูพื้นนั้นต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อการ

ดำเนินการของโครงการฯ ร่วมด้วย เพราะในการดำเนินการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีการซ่อมแซมบำรุงรักษา เช่นการล้างแผง ซ่อมแซมระบบไฟฟ้าที่อยู่ใต้แผง วัสดุที่ปูใต้แผงจึงต้องทนต่อการกดทับ หรือไม่เพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ฉะนั้นการศึกษานี้จึงทำการเลือกวัสดุปูพื้นใต้แผงที่มีค่าการสะท้อนมากกว่าพื้นหญ้า และเมื่อทำการปูพื้นแล้ว โครงการฯ ยังสามารถดำเนินการต่อไปได้ โดยที่การปูวัสดุดังกล่าวนั้นไม่กระทบต่อการดำเนินการและการบำรุงรักษาโครงการฯ อีกทั้งยังหาได้ง่ายและพบอยู่ทั่วไปในประเทศไทย ราคาไม่สูงเกินไปเหมาะสมแก่การลงทุน ได้แก่ ทราช และ หินกรวด ซึ่งมีค่าการสะท้อน 0.3 และ 0.4 ตามลำดับ

2.6.2 การศึกษาการลงทุนโครงการพลังงานแสงอาทิตย์

ในส่วนการลงทุนโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ พบบงานวิจัยที่ทำการศึกษเปรียบเทียบการลงทุน 3 ประเภทคือ 1) ลงทุน 100% โดยผู้ลงทุน 2) ผู้ลงทุนออก 70% และกู้ธนาคาร 30% 3) กู้ธนาคาร 100% รวมถึงงานก่อสร้างทั้งหมด โดยที่ได้ทำการเปรียบเทียบโมเดลการเงินสำหรับโครงการขนาด 5 เมกะวัตต์ 10 เมกะวัตต์ และ 50 เมกะวัตต์ ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้แก่ กระเงินสด (Cash flow), ต้นทุนเฉลี่ยตลอดอายุโครงการโรงไฟฟ้า (Levelized cost of electricity), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) [10]

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1 สมมติฐานในการดำเนินงาน

- โครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 5 เมกกะวัตต์ ใช้แผงขนาด 440 วัตต์ จำนวน 11,340 แผ่นต่อโครงการ โดยมีโครงสร้างสูง 2.1 เมตร ระยะเว้นของแต่ละแถว นับจากแกนกลางของโครงสร้าง 11 เมตร ใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 240 กิโลวัตต์แอมแปร์ จำนวน 40 ชุด โครงการทำงานด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบตั้งเวลา (Tracking system) ซึ่งมีองศาการหมุนของแกนกลางโครงสร้างที่ -45 องศา ถึง 45 องศา ที่ตั้งโครงการอยู่ในภาคกลางของประเทศไทย โดยเปลี่ยนวัสดุปูพื้นเป็น พื้นหญ้า พื้นทราย และพื้นหินกรวด
- อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินในงานศึกษานี้ 1 ดอลลาร์สหรัฐ มีค่าเท่ากับ 33.84 บาท

3.2 ข้อจำกัดการศึกษา

1. การศึกษานี้เป็นเพียงการจำลองข้อมูลผ่านโปรแกรมที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศในอดีต ในสภาพอากาศจริงอาจมีการคลาดเคลื่อนได้
2. ค่าการสะท้อน (Albedo) ของวัสดุปูพื้นที่ใช้ในสภาพแวดล้อมของจริงอาจคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมของสถานที่จริง
3. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษา ไม่ใช่แผงที่ดีที่สุดในตลาด การเปลี่ยนรุ่นของแผงที่ใช้ศึกษา อาจทำให้ได้ผลที่แตกต่างกันไป
4. ความผันผวนของราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีส่วนกระทบอย่างมากสำหรับการศึกษา
5. การศึกษานี้ไม่ได้คำนวณถึงความผันผวนของอัตราแลกเปลี่ยนที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและคำนวณหาขนาดและจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทั้งหมด สำหรับโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 5 เมกกะวัตต์ ที่ใช้แผงแบบทั่วไปและแผงรับแสงสองด้านขนาด 440 วัตต์ และค่าการสะท้อนของวัสดุที่จะนำมาปูพื้นโครงการฯ
2. ศึกษาข้อมูลทางการเงินและการลงทุนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ต้นทุนที่แตกต่างกันในแต่ละโครงการ นำมาคิดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่จะ

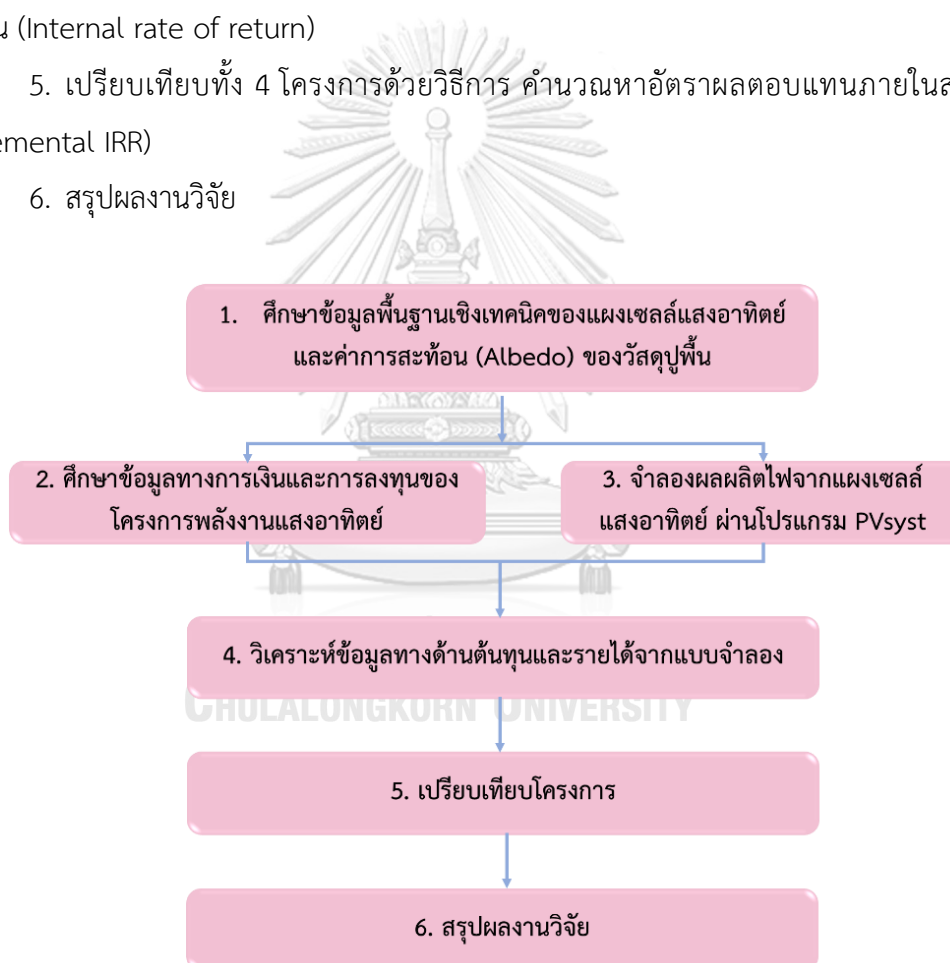
เกิดขึ้นทั้งหมด โดยอ้างอิงข้อมูลจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดำเนินการในประเทศไทย และต้นทุนของอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายอื่นๆ อ้างอิงตามราคาจากผู้ผลิตชั้นนำ

3. จำลองผลผลิตไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผ่านโปรแกรม PVsyst โดยระบุขนาดอุปกรณ์ที่เลือกใช้และเลือกวัสดุปูพื้นทั้ง 4 โครงการที่ศึกษา และนำผลผลิตในปีแรกที่ได้จากโปรแกรม PVsyst ไปคำนวณหาผลผลิตตลอด 25 ปี โดยใช้อัตราการลดลงของประสิทธิภาพแผงตามข้อมูลจากผู้ผลิตแผง

4. วิเคราะห์ข้อมูลทางด้านต้นทุนและรายได้จากแบบจำลอง โดยใช้วิธีการหา ต้นทุนต่อหน่วย (Unit cost) ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการ (Life cycle cost) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return)

5. เปรียบเทียบทั้ง 4 โครงการด้วยวิธีการ คำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม (Incremental IRR)

6. สรุปผลงานวิจัย



รูปที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้เริ่มทำการศึกษาเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 โดยในช่วงเดือนสิงหาคม - กันยายน พ.ศ. 2564 ได้ทำการศึกษาข้อมูลเชิงเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่าการสะท้อนของวัสดุที่นำมาใช้ปูพื้นของโครงการ และในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ได้ศึกษาข้อมูลทางการเงินและการลงทุนของแต่ละโครงการ และทำได้การจำลองผลผลิตไฟฟ้าผ่านโปรแกรม PVsyst และนำข้อมูลทั้งส่วนของต้นทุนและผลผลิตไฟฟ้ามาวิเคราะห์หาข้อมูลทางด้านต้นทุน และได้ทำการเปรียบเทียบโครงการทั้ง 4 โครงการแล้วเสร็จในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2564

ตารางที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการศึกษา	ระยะเวลาดำเนินการ พ.ศ. 2564			
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน
1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเชิงเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่าการสะท้อน (Albedo) ของวัสดุปูพื้น				
2. ศึกษาข้อมูลทางการเงินและการลงทุนของโครงการพลังงานแสงอาทิตย์				
3. จำลองผลผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผ่านโปรแกรม PVsyst				
4. วิเคราะห์ข้อมูลทางด้านต้นทุนและรายได้จากแบบจำลอง				
5. เปรียบเทียบโครงการ				



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ต้นทุนของโครงการ

จากการศึกษาและออกแบบระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 5 เมกะวัตต์ ทั้ง 4 โครงการ ที่ใช้แผงประเภททั่วไป และแผงประเภทรับแสงสองด้าน ทำงานด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบตั้งเวลา ทั้งแบบโครงการที่เป็นพื้นหญ้า ทราย หรือ พื้นหินกรวด มีกระบวนการทำงาน 6 ส่วนด้วยกันทั้งหมด ได้แก่ ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบแปลงกระแสไฟฟ้า สวิตช์เกียร์ หม้อแปลง ระบบควบคุม ระบบโครงข่าย

1. ระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งสามารถจำแนก อุปกรณ์ย่อย ได้เป็น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งประเภททั่วไปและแบบรับแสงสองด้าน ขนาด 440 วัตต์ โครงการละ 11,340 แผ่น โครงสร้างที่ใช้ติดตั้งแผง และตัวระบบติดตามแสงอาทิตย์ มอเตอร์เกียร์ โดยโครงสร้างจะสูง 2.1 เมตร เพื่อไม่ให้รังสีความร้อนจากพื้นผิวหรือสะท้อนมาถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ สำหรับโครงการที่มีการวางวัสดุปูพื้นจะมีส่วนเพิ่มเข้ามาคือ ทราย และหินกรวด ซึ่งจะปูได้แผงพื้นที่ 64,733 ตารางเมตร ด้วยความหนา 6 เซนติเมตร ทำให้ใช้ปริมาณ ทราย หินกรวด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว) จำนวนอย่างละ 3,884 ลูกบาศก์เมตร โดยพื้นที่ได้แผงมาจากการใช้แผงจำนวน 11,340 แผ่น โดย 1 แผ่น มีขนาดกว้าง 1.038 เมตร ยาว 2.094 เมตร ระยะเว้นของแต่ละแถวนับจากแกนกลางโครงสร้าง 11 เมตร ทั้งหมด 155 แถว โดยที่ 90 แถว มีแผง 74 แผ่น และอีก 65 แถว มีแผง 72 แผ่น

2. ระบบแปลงกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์ ขนาด 240 กิโลวัตต์แอมแปร์ จำนวน 40 ชุด และ ตู้ไฟคอมไบเนอร์ ขนาด 4/1500 /โวลต์กระแสสลับ จำนวน 10 กล่อง

3. สวิตช์เกียร์ ขนาด 36 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด

4. หม้อแปลง 1,500 กิโลวัตต์แอมแปร์ จำนวน 3 ชุด

5. ระบบควบคุม จำนวน 1 ชุด

6. ระบบโครงข่าย ขนาด 33 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ชุด

นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายอีก 2 ส่วน คือค่าติดตั้งโครงการและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ทำให้ได้ต้นทุนของโครงการ โดยสามารถแบ่งสัดส่วนการลงทุนออกเป็น 8 ส่วนด้วยกัน ดังตารางที่ 4-1 โดยที่ทั้ง 4 โครงการจะมีต้นทุนในแต่ละส่วนเหมือนกัน ยกเว้นส่วนของระบบผลิตไฟฟ้า ที่จะต่างกันที่ประเภทของแผงที่เลือกใช้ และวัสดุที่ใช้ปูพื้นได้แผง

ตารางที่ 4-1 รายการและค่าใช้จ่ายของโครงการ

รายการ	รายละเอียด	จำนวน	ราคา (ล้านบาท/ หน่วย)	รวม (ล้านบาท/ หน่วย)
1. ระบบผลิตไฟฟ้า				
1.1 แผงทั่วไป	440 วัตต์/แผ่น	11,340	0.003133	35.53
1.1 แผงรับแสงสองด้าน	440 วัตต์/แผ่น	11,340	0.003500	39.69
1.2 โครงสร้าง	ความสูง 2.1 เมตร/ชุด	5	5.000000	25.00
1.3 มอเตอร์เกียร์	300 นิวตันเมตร/ชุด	157	0.020000	3.14
1.4 ทราय	-	3,884 ลบม.	0.000288	1.31
1.5 หินกรวด	ขนาด 2 นิ้ว	3,884 ลบม.	0.000360	1.64
2. ระบบแปลงกระแสไฟฟ้า				0.00
2.1 อินเวอร์เตอร์	240 กิโลวัตต์แอมแปร์/ชุด	40	0.240000	9.60
2.2 ตู้ไฟคอมไบเนอร์	4/1500 /โวลต์กระแสสลับ	10	0.200000	2.00
3. สวิตช์เกียร์	36 กิโลวัตต์/ชุด	3	1.200000	3.60
4. หม้อแปลง	1,500 กิโลวัตต์แอมแปร์/ชุด	3	2.000000	6.00
5. ระบบควบคุม	-	1	0.500000	0.50
6. ระบบโครงข่าย	33 กิโลวัตต์/ชุด	1	10.000000	10.00
7 ค่าติดตั้ง	-	1	15.000000	15.00
8. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	-	1	20.000000	20.00

4.2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (CAPEX)

เมื่อทำการวิเคราะห์และรวบรวมต้นทุนในแต่ละส่วนของโครงการทั้งหมด จะมีส่วนที่แตกต่างกันอยู่ 1 ส่วนคือส่วนของระบบผลิตไฟฟ้า โดยต้นทุนที่แตกต่างออกไปคือประเภทของแผงที่ใช้และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละโครงการ ในส่วนอื่น ๆ นั้นเงินลงทุนนั้นมีต้นทุนที่เท่ากัน รายละเอียดดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโครงการที่ 1 ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้แผงประเภททั่วไป พื้นที่ได้แผงเป็นพื้นที่หน้า มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 130.37 ล้านบาท
2. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโครงการที่ 2 ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน พื้นที่ได้แผงเป็นพื้นที่หน้า มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 134.53 ล้านบาท
3. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโครงการที่ 3 ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน ทำการปูพื้นด้วยทราย ทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุน 135.65 ล้านบาท
4. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโครงการที่ 4 ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน ทำการปูพื้นด้วยหินกรวด ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 135.93 ล้านบาท

ซึ่งค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้น เป็นการลงทุนในปีแรกของโครงการเพียงครั้งเดียว ตลอดอายุของโครงการไม่ได้มีการเพิ่มการลงทุนเข้าไปอีก

ตารางที่ 4-2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (CAPEX)

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (CAPEX) (ล้านบาท)	แผงทั่วไป	แผงรับแสงสองด้าน		
	พื้นที่หน้า	พื้นที่หน้า	พื้นที่ทราย	พื้นที่หินกรวด
1. ระบบผลิตไฟฟ้า	63.67	67.83	68.95	69.23
2. ระบบแปลงกระแสไฟฟ้า	11.60	11.60	11.60	11.60
3. สวิตช์เกียร์	3.6	3.6	3.6	3.6
4. หม้อแปลง	6	6	6	6
5. ระบบควบคุม	0.5	0.5	0.5	0.5
6. ระบบโครงข่าย	10	10	10	10
7 ค่าติดตั้ง	15	15	15	15
8. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	20	20	20	20
รวม (ล้านบาท)	130.37	134.53	135.65	135.93

4.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (OPEX)

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเป็นต้นทุนที่จะต้องจ่ายเพื่อใช้ในการดำเนินกิจการและบำรุงรักษาซ่อมแซมโครงการ ซึ่งเป็นต้นทุนที่จะต้องจ่ายเป็นรายปี เฉลี่ยเท่ากันตลอดอายุโครงการ โดยโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีต้นทุนการดำเนินงานอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และ ค่าใช้จ่ายอื่นๆ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน คือค่าใช้จ่ายที่ใช้ในส่วนเทคนิคที่ทำให้โครงการผลิตไฟฟ้าต่อไปได้ เช่น ค่าล้างแผง ซึ่งโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นตั้งอยู่บนพื้นที่โล่งกลางแจ้ง เมื่อดำเนินการไปสักพักจะมีฝุ่นเกาะหน้าแผ่น ส่งผลให้แสงแดดที่จะตกกระทบแผ่นน้อยลงทำให้แผงพลังงานแสงอาทิตย์มีผลการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ การล้างแผงถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในการบำรุงรักษาโครงการที่สำคัญอย่างมาก ความถี่ในการล้างแผงนั้นขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของเจ้าของโครงการเนื่องจากสภาพแวดล้อมแต่ละพื้นที่นั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งบางพื้นที่อาจมีละอองฝุ่นจำนวนมาก บางพื้นที่มีฝนตกเป็นเวลานานก็สามารถช่วยชะล้างฝุ่นที่เกาะอยู่บนแผงออกไปได้เช่นกัน การที่ศึกษานี้มีที่ตั้งอยู่ในภาคกลางของประเทศไทย และอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นปานกลาง โดยโครงการที่ศึกษาทำการล้างแผงเดือนละ 1 ครั้ง สำหรับโครงการที่เป็นพื้นที่หญ้า ส่วนโครงการที่ปูพื้นทรายและหินกรวดนั้น อาจมีฝุ่นละอองจากทรายและหินกรวดมาเกาะเพิ่มได้ จึงจะทำการล้างแผง เดือนละ 2 ครั้ง ยกเว้นช่วงฤดูฝน (6 เดือน) ที่จะล้างเพียงเดือนละ 1 ครั้ง ค่าตัดหญ้า สำหรับโครงการที่เป็นพื้นหญ้านั้นจะตัด 3 เดือนครั้ง ยกเว้นช่วงฤดูฝน (6 เดือน) เนื่องจากหญ้าจะขึ้นเร็วมาก จะตัดหญ้าเดือนละ 1 ครั้ง ในส่วนของโครงการปูพื้นทรายและหินกรวดจะตัดหญ้าจำนวนเท่าโครงการพื้นหญ้า แต่จะมีพื้นที่ตัดหญ้าน้อยกว่า ประมาณ 1/4 เท่า เครื่องมือช่างต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงการ เช่น เครื่องมือตรวจวัดในการตรวจเช็คปัญหา เครื่องมือที่ใช้ในการซ่อมบำรุง พนักงานปฏิบัติงาน ผู้ที่ทำหน้าที่ควบคุมดูแลเพื่อให้โครงการผลิตไฟฟ้าได้ปกติ และคอยซ่อมแซมเมื่อมีส่วนต่าง ๆ เสียหาย อุปกรณ์สำรอง จำพวกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรหลัก เป็นต้น

ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ได้แก่ ค่าเช่าที่ดิน โดยโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใช้พื้นที่รวมประมาณ 98,521 ตารางเมตร ค่าประกันภัย สำหรับเหตุการณ์ไม่คาดฝันหรืออุบัติเหตุ เช่น ไฟไหม้ ภัยธรรมชาติ ค่าสาธารณูปโภค เช่น ค่าน้ำ ค่าไฟ ที่ใช้ในโครงการ เนื่องจากโครงการเองมีส่วนของห้องควบคุมและมอเตอร์เกียร์ที่ทำหน้าที่ปรับทิศทางของแผงให้ไปตามดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ค่าวิชาชีพ เช่น ค่าวิชาชีพวิศวกรในการรับรองเอกสารทางวิศวกรต่าง ๆ ของโครงการ ภาษี เช่น ภาษีท้องถิ่น ภาษีป้าย และค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด สำหรับค่าใช้จ่ายย่อยอื่นๆ

เมื่อทำการวิเคราะห์หาต้นทุนการดำเนินงานของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าโครงการที่ใช้วัสดุปูพื้นเป็นทรายและหินกรวด จะมีต้นทุนการดำเนินการที่สูงกว่า โครงการที่ปูด้วยพื้นหญ้า เนื่องจากค่าล้างแผงที่มากกว่า รายละเอียดดังนี้

โครงการที่ 1 ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้แผนประเภททั่วไป พื้นที่ได้แผนเป็นพื้นที่ มีต้นทุนในการดำเนินการ 4.57 ล้านบาท/ปี หรือ 114.98 ล้านบาท/25 ปี

1. โครงการที่ 2 ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้แผนประเภทรับแสงสองด้าน พื้นที่ได้แผนเป็นพื้นที่ มีต้นทุนในการดำเนินการ 4.57 ล้านบาท/ปี หรือ 114.98 ล้านบาท/25 ปี

2. โครงการที่ 3 ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้แผนประเภทรับแสงสองด้าน ทำการปูพื้นด้วยทราย ต้นทุนในการดำเนินการ 4.64 ล้านบาท/ปี หรือ 116.05 ล้านบาท/25 ปี

3. โครงการที่ 4 ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้แผนประเภทรับแสงสองด้าน ทำการปูพื้นด้วยหินกรวด ต้นทุนในการดำเนินการ 4.64 ล้านบาท/ปี หรือ 116.05 ล้านบาท/25 ปี

ตารางที่ 4-3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (OPEX)

รายละเอียด	แผนทั่วไป	แผนรับแสงสองด้าน		
	พื้นที่	พื้นที่	พื้นที่ทราย	พื้นที่หินกรวด
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน				
ค่าจ้างแผน	0.48	0.48	0.72	0.72
ค่าตัดหญ้า	0.22	0.22	0.055	0.055
เครื่องมือ	0.45	0.45	0.45	0.45
พนักงานปฏิบัติงาน	0.76	0.76	0.76	0.76
อุปกรณ์สำรอง	0.06	0.06	0.06	0.06
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	1.97	1.97	2.05	2.05
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ				
ค่าเช่า ที่ดิน (98,521 ตรม.)	0.62	0.62	0.62	0.62
ประกันภัย	0.46	0.46	0.46	0.46
สาธารณูปโภค	0.10	0.10	0.10	0.10
ค่าวิชาชีพ	1.03	1.03	1.03	1.03
ภาษี	0.06	0.06	0.06	0.06
เบ็ดเตล็ด	0.32	0.32	0.32	0.32
รวมค่าใช้จ่ายอื่นๆ	2.98	2.60	2.60	2.60
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (OPEX) ล้านบาท/ปี	4.57	4.57	4.64	4.64
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (OPEX) ล้านบาท/25 ปี	114.18	114.18	116.05	116.05

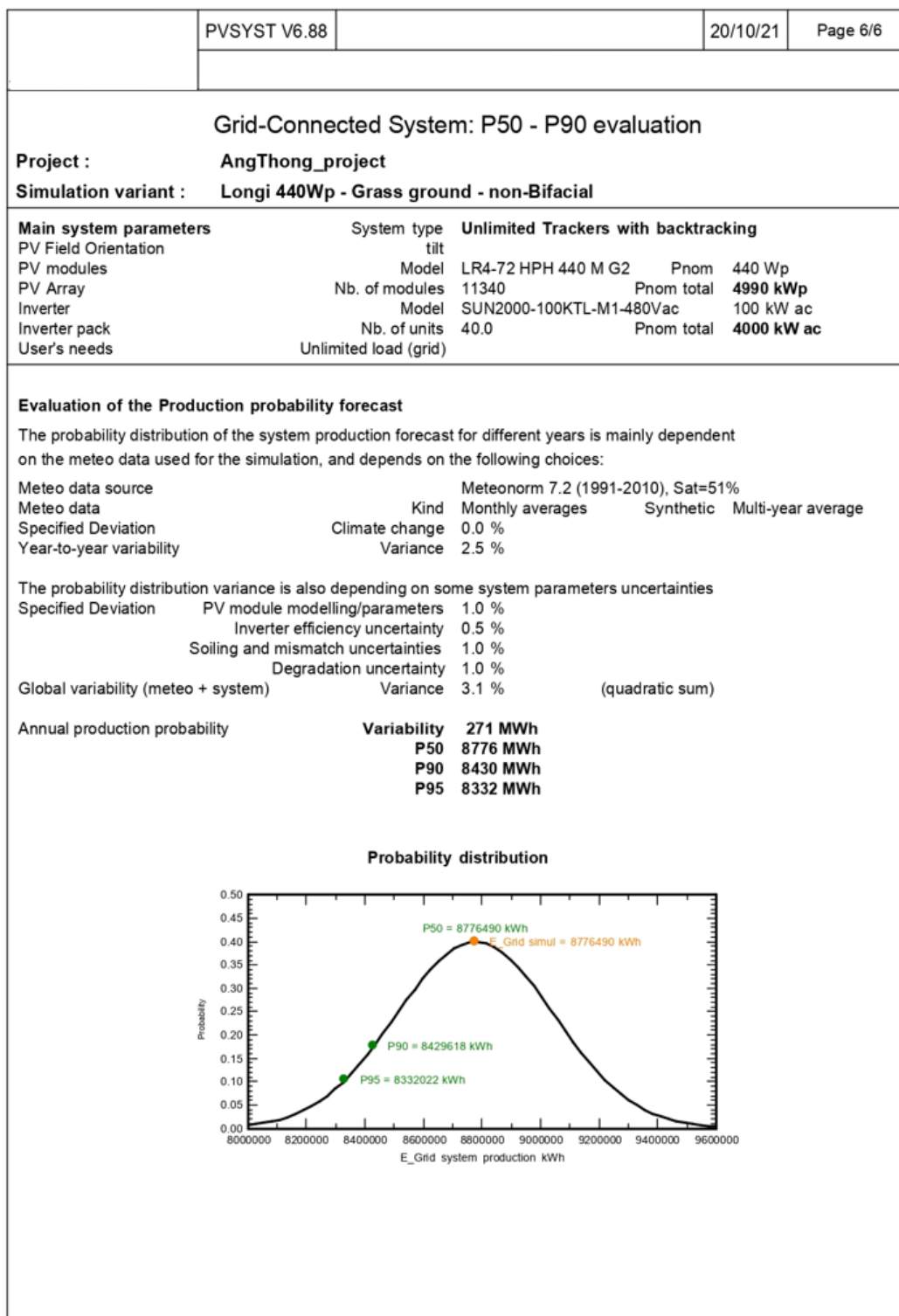
4.4 การจำลองผลผลิตไฟฟ้าผ่านโปรแกรม PVsyst

ทำการจำลองผลผลิตไฟฟ้าทั้ง 4 โครงการผ่านโปรแกรม PVsyst โดยใช้ข้อมูลที่ป้อนเข้าโปรแกรมเพื่อให้จำลองผลการผลิตไฟดังนี้

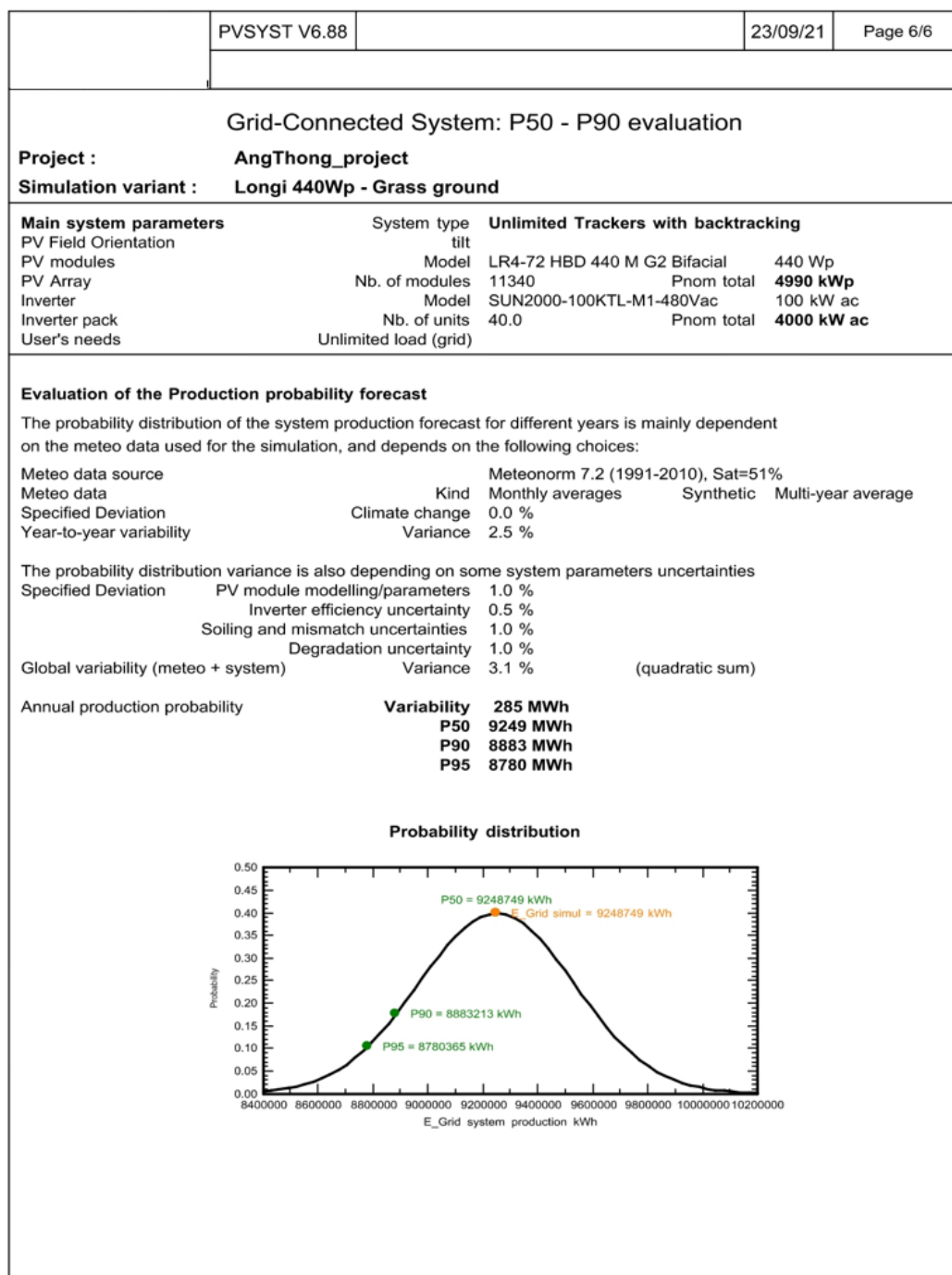
- แผงแบบทั่วไป ขนาด 440 วัตต์ จำนวน 11,340 แผ่น
- แผงแบบรับแสงสองด้าน ขนาด 440 วัตต์ จำนวน 11,340 แผ่น
- โครงสร้างสูง 2.1 เมตร ระยะเว้นของแต่ละแถว 11 เมตร
- ใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 240 กิโลวัตต์แอมแปร์ จำนวน 40 ชุด
- โครงการทำงานด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบตั้งเวลา (Tracking system) องศาหมุน -45 องศา ถึง 45 องศา
- ที่ตั้งโครงการอยู่ในภาคกลางของประเทศไทย
- โครงการที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้านนั้นเปลี่ยนวัสดุปูพื้นเป็น พื้นหญ้า พื้นทราย และ พื้นหินกรวด ที่มีค่าการสะท้อน 0.2 0.3 และ 0.4 ตามลำดับ

ผลผลิตไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการจำลองจากโปรแกรม PVsyst นั้น จะมีทั้งหมด 3 ตัวเลือก คือ P50 P90 และ P95 ซึ่ง P ในที่นี้มาจากคำว่า ความน่าจะเป็น (Probability) ตัวโปรแกรมเองจะประเมินค่า P50 - P95 เป็นแนวทางความน่าจะเป็นสำหรับการหาผลการจำลองผลผลิตไฟโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศในอดีตที่ผ่านมตามกฎของความน่าจะเป็น ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็นที่ผลผลิตในปีนั้น ๆ จะมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้น 50% 90% หรือ 95%

ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลจาก P90 มาเป็นตัวเลือกในการวิเคราะห์ เนื่องจากความน่าจะเป็นที่ใช้มาประเมินใน P90 เป็นการประมาณทางสถิติที่ใช้ข้อมูลตามสภาพอากาศที่สำคัญอย่างมีนัยสำคัญ (ข้อมูลอุตุณิยมวิทยาอย่างน้อย 15-20 ปี) โดยผลจากการจำลองแต่ละโครงการนั้นมีรายละเอียดดังรูปที่ 4-1 รูปที่ 4-2 รูปที่ 4-3 และ Error! Reference source not found.

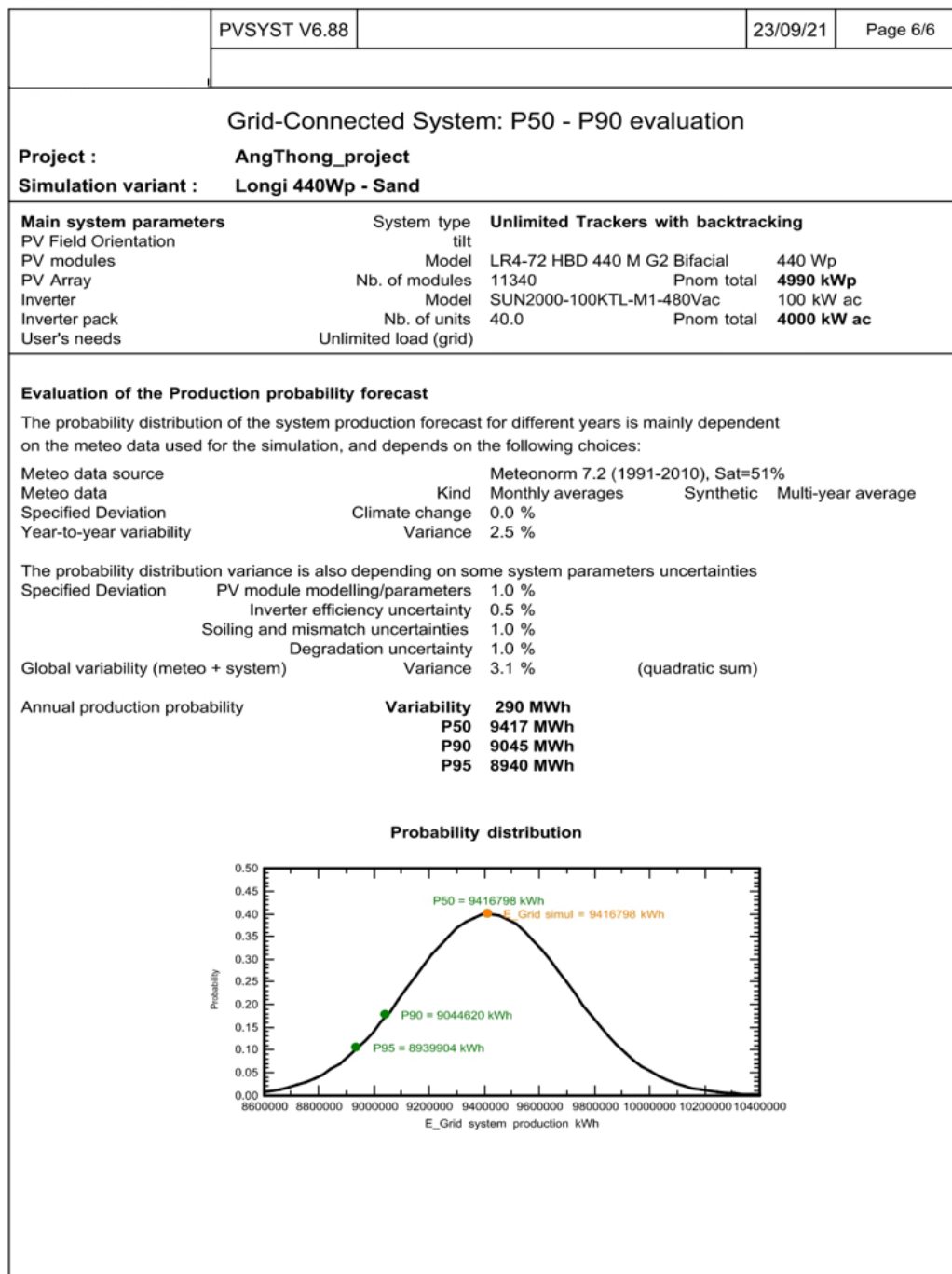


รูปที่ 4-1 ผลจากการจำลอง PVsyst โครงการ 1 ใช้แผงทั่วไปและพื้นที่ได้แผงเป็นพื้นที่หญ้า

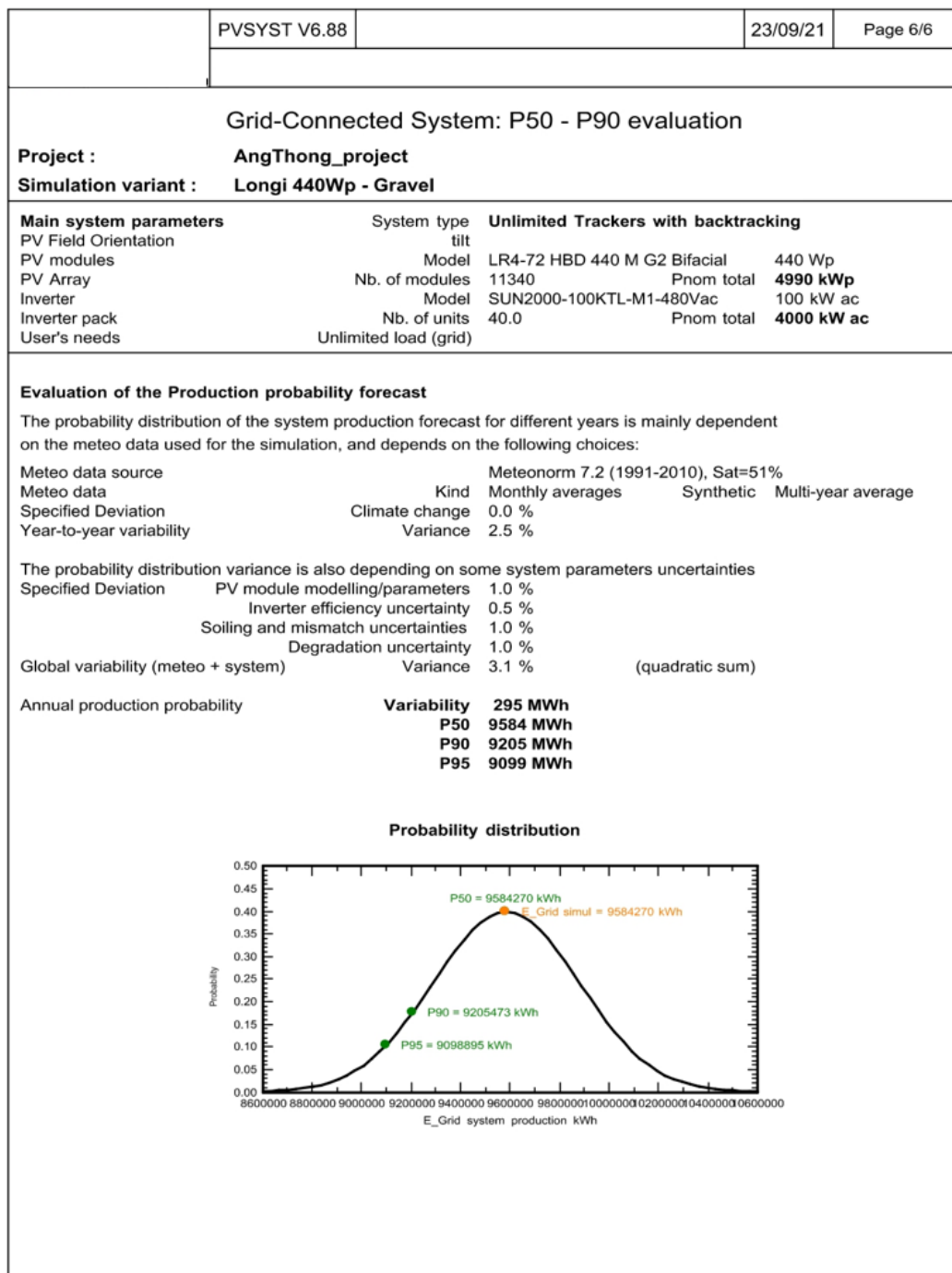


รูปที่ 4-2 ผลจากการจำลอง PVsyst ของ โครงการ 2 ใช้แผงรับแสงสองด้านและพื้นที่ได้แผงเป็นพื้นที่

หญ้า



รูปที่ 4-3 ผลจากการจำลอง PVsyst โครงการ 3 ใช้แผงรับแสงสองด้านและพื้นที่ได้แผงเป็นพื้นที่ทราย



รูปที่ 4-4 ผลจากการจำลอง PVSyst โครงการ 4 ใช้แผงรับแสงสองด้านและพื้นที่ได้แผงเป็นพื้นที่

กรวด

เนื่องจากผลผลิตไฟที่ได้จากโปรแกรมฯ เป็นผลผลิตไฟ ปีที่ 1 ของโครงการเท่านั้น จึงต้องนำผลผลิตไฟทั้ง 4 โครงการไปหาผลผลิตไฟตลอดอายุโครงการ ภายใต้สมมติฐานอายุโครงการ 25 ปี โดยใช้อัตราการลดลงของประสิทธิภาพแผงตามข้อมูลจากผู้ผลิตแผง ทำให้ได้ผลผลิตไฟทั้งหมดดังตารางที่ 4-4 โดยที่แผงทั่วไปมีการลดลงของประสิทธิภาพ ปีแรก 2% ปีถัดไป 0.55% ต่อปี ในขณะที่แผงรับแสงสองด้านมีการลดลงของประสิทธิภาพ ปีแรก 2% ปีถัดไป 0.45% ต่อปี

ตารางที่ 4-4 ผลผลิตไฟตลอดอายุโครงการ

ผลการผลิตไฟ (เมกะวัตต์-ชั่วโมง)					
	ประเภทแผง	แผงทั่วไป	แผงรับแสงสองด้าน		
	วัสดุได้แผง	พื้นที่	พื้นที่	พื้นที่	พื้นที่
	ค่าการสะท้อน	0.2	0.2	0.3	0.4
ปีติดตั้ง	1	8,430	8,883	9,045	9,205
	2	8,261	8,705	8,864	9,021
	3	8,215	8,666	8,824	8,980
	4	8,169	8,627	8,785	8,940
	5	8,122	8,588	8,745	8,900
	6	8,076	8,550	8,706	8,860
	7	8,030	8,511	8,666	8,820
	8	7,983	8,473	8,627	8,780
	9	7,937	8,435	8,589	8,741
	10	7,890	8,397	8,550	8,701
	11	7,844	8,359	8,511	8,662
	12	7,798	8,321	8,473	8,623
	13	7,751	8,284	8,435	8,584
	14	7,705	8,247	8,397	8,546
	15	7,659	8,210	8,359	8,507
	16	7,612	8,173	8,322	8,469
	17	7,566	8,136	8,284	8,431
	18	7,520	8,099	8,247	8,393
	19	7,473	8,063	8,210	8,355
	20	7,427	8,027	8,173	8,317
	21	7,380	7,990	8,136	8,280
	22	7,334	7,954	8,100	8,243
	23	7,288	7,919	8,063	8,206
	24	7,241	7,883	8,027	8,169
	25	7,195	7,848	7,991	8,132
	รวม (เมกะวัตต์-ชั่วโมง)	196,234	207,348	211,129	214,864

4.5 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit cost)

คำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย โดยการนำค่าใช้จ่ายในการลงทุนมารวมกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน กับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้มาคำนวณหาต้นทุนต่อหน่วย

$$\text{ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วย} = \frac{(\text{ค่าใช้จ่ายการลงทุน} + \text{ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน})}{\text{ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้}}$$

(สมการที่ 4-1)

1. โครงการที่ 1 แผงทั่วไป พื้นหญ้า มีต้นทุนทั้งหมด 244.55 ล้านบาท
2. โครงการที่ 2 แผงรับแสงสองด้าน พื้นหญ้า มีต้นทุนทั้งหมด 248.71 ล้านบาท
3. โครงการที่ 3 แผงรับแสงสองด้าน พื้นหญ้า มีต้นทุนทั้งหมด 251.70 ล้านบาท
4. โครงการที่ 4 แผงรับแสงสองด้าน พื้นหญ้า มีต้นทุนทั้งหมด 251.98 ล้านบาท

เมื่อได้ต้นทุนทั้งหมดของโครงการ และผลผลิตไฟแล้ว สามารถคำนวณหาต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละโครงการ ซึ่งมีข้อมูลดังนี้ โครงการที่ 1 ใช้แผงทั่วไปและปูพื้นหญ้า มีต้นทุนต่อหน่วย 1.26 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง โครงการที่ 2 ใช้แผงรับแสงสองด้านและปูพื้นหญ้า มีต้นทุนต่อหน่วย 1.20 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง โครงการที่ 3 ใช้แผงรับแสงสองด้านและปูพื้นทราย มีต้นทุนต่อหน่วย 1.19 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง และโครงการที่ 4 ใช้แผงรับแสงสองด้านและปูพื้นหินกรวด มีต้นทุนต่อหน่วย 1.17 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากการศึกษาทำให้ทราบว่าโครงการที่ 1 ที่ใช้แผงทั่วไปและพื้นหญ้า มีต้นทุนต่อหน่วยสูงที่สุด และโครงการที่ 4 ใช้แผงรับแสงสองด้าน ปูพื้นหินกรวด มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุด ในขณะที่ โครงการที่ 2 และ 3 ต่างก็ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้านเหมือนกัน แต่ว่าโครงการที่ 3 ซึ่งปูพื้นทราย มีต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำกว่าโครงการที่ 2 ที่เป็นพื้นหญ้าไม่มากนัก

ตารางที่ 4-5 ต้นทุนต่อหน่วย (Unit cost)

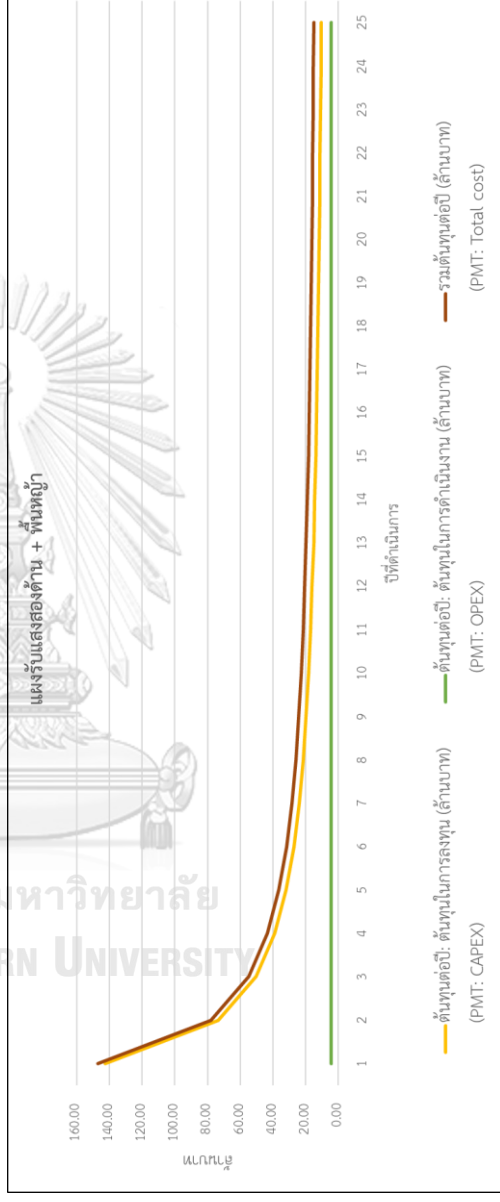
รายละเอียด	แผงทั่วไป	แผงรับแสงสองด้าน		
	พื้นหญ้า	พื้นหญ้า	พื้นทราย	พื้นหินกรวด
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ล้านบาท)	130.37	134.53	135.65	135.93
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ล้านบาท)	114.18	114.18	116.05	116.05
ต้นทุนทั้งหมด (ล้านบาท)	244.55	248.71	251.70	251.98
ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (พันกิโลวัตต์-ชั่วโมง)	193,906.86	207,347.65	211,129.06	214,863.79
ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	1.26	1.20	1.19	1.17

4.6 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการ (Life cycle cost)

ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการ (Life cycle cost) เป็นการหาอายุเชิงเศรษฐกิจของโครงการฯ ซึ่งต้นทุนวงจรชีวิตของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในตารางที่ 4-6 (แผงทั่วไป พื้นหญ้า) ตารางที่ 4-7 (แผงรับแสงสองด้าน พื้นหญ้า) ตารางที่ 4-8 (แผงรับแสงสองด้าน พื้นทราย) และ ตารางที่ 4-9 (แผงรับแสงสองด้าน พื้นหินกรวด) แสดงถึงต้นทุนรวมของต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงานเฉลี่ยต่อปีตามระยะเวลาของการดำเนินงาน โดยมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาดำเนินงานมากขึ้นจนสิ้นสุดโครงการในปีที่ 25 ซึ่งโครงการนี้มีอายุเชิงเศรษฐกิจมากกว่าอายุโครงการที่ตั้งไว้ หากทำการบำรุงรักษาระบบต่างๆ ให้ยังทำงานได้ดีและมีการซ่อมแซมอย่างสม่ำเสมอ ย่อมส่งผลทำให้โครงการสามารถดำเนินงานได้เกิน 25 ปี



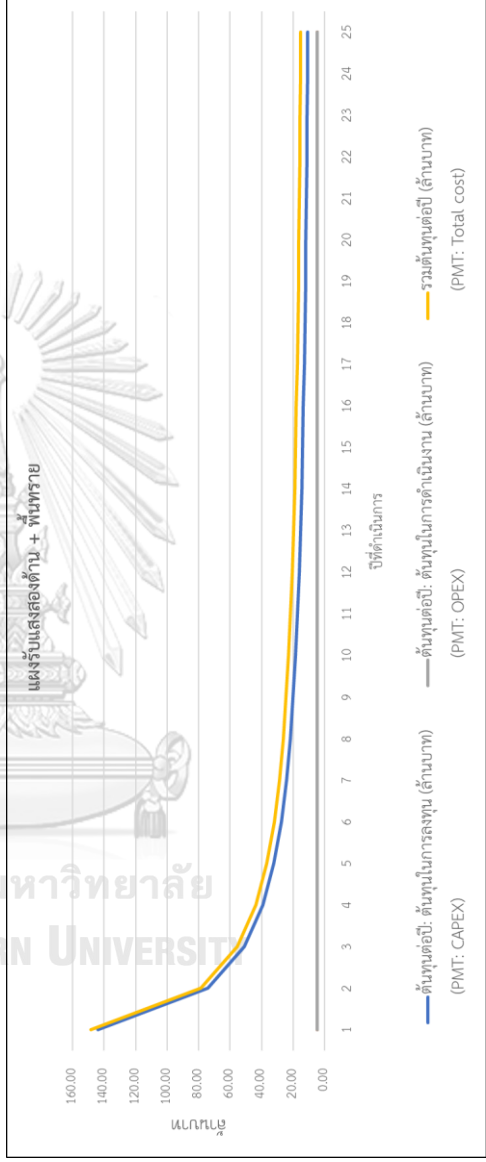
ตารางที่ 4-7 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 2 ใช้แบ่งรับแสงสองด้านและปูพื้นหญ้า

[illegible]

รูปที่ 4-6 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 2 ใช้แบ่งรับแสงสองด้านและปูพื้นหญ้า

ตารางที่ 4-8 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 3 ใช้แผนรับแสงสองด้านและปูพื้นทราย

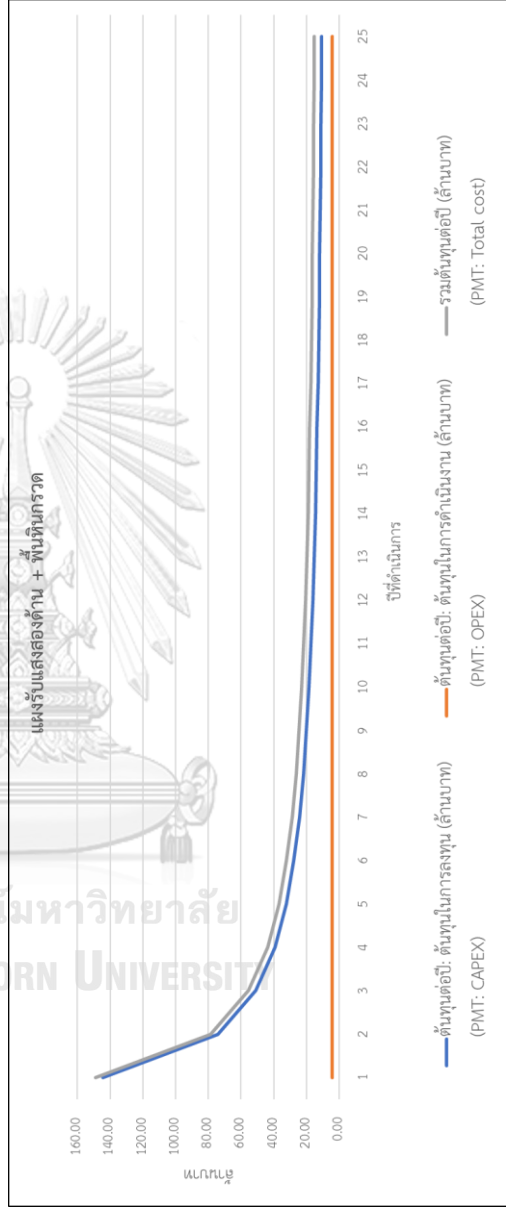
ปีที่ดำเนินงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ต้นทุนต่อปี: ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ล้านบาท) (PMT: CAPEX)	143.79	73.99	50.75	39.15	32.20	27.59	24.30	21.84	19.94	18.43	17.20	16.18	15.32	14.59	13.97	13.42	12.95	12.53	12.16	11.83	11.53	11.27	11.03	10.81	10.61
รวม: ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ล้านบาท) (SUM: OPEX)	4.38	8.51	12.41	16.09	19.55	22.83	25.91	28.83	31.57	34.17	36.61	38.92	41.09	43.15	45.09	46.91	48.64	50.26	51.80	53.24	54.61	55.90	57.11	58.26	59.34
ต้นทุนต่อปี: ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ล้านบาท) (PMT: OPEX)	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64
รวมต้นทุนต่อปี (ล้านบาท) (PMT: Total cost)	148.43	78.63	55.39	43.79	36.84	32.23	28.94	26.49	24.59	23.07	21.84	20.82	19.96	19.24	18.61	18.06	17.59	17.17	16.80	16.47	16.17	15.91	15.67	15.45	15.25
WACC = 6%	CAPEX= 135.65 OPEX= 4.64																								



รูปที่ 4-7 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 3 ใช้แผนรับแสงสองด้านและปูพื้นทราย

ตารางที่ 4-9 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 4 ใช้แผนรับแสงสองด้านและปูพื้นหินกรวด

ปีที่ดำเนินงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ต้นทุนต่อปี: ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ล้านบาท)	144.08	74.14	50.85	39.23	32.27	27.64	24.35	21.89	19.98	18.47	17.23	16.21	15.35	14.62	14.00	13.45	12.97	12.55	12.18	11.85	11.55	11.29	11.05	10.83	10.63
(PMT: CAPEX)																									
รวม: ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ล้านบาท)	4.38	8.51	12.41	16.09	19.55	22.83	25.91	28.83	31.57	34.17	36.61	38.92	41.09	43.15	45.09	46.91	48.64	50.26	51.80	53.24	54.61	55.90	57.11	58.26	59.34
(SUM: OPEX)																									
ต้นทุนต่อปี: ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ล้านบาท)	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64
(PMT: OPEX)																									
รวมต้นทุนต่อปี (ล้านบาท)	148.73	78.78	55.49	43.87	36.91	32.28	28.99	26.53	24.63	23.11	21.88	20.86	20.00	19.27	18.64	18.09	17.62	17.20	16.82	16.49	16.20	15.93	15.69	15.47	15.28
(PMT: Total cost)																									
WACC = 6%																									
CAPEX= 135.93																									
OPEX= 4.64																									



รูปที่ 4-8 ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการที่ 4 ใช้แผนรับแสงสองด้านและปูพื้นหินกรวด

ตารางที่ 4-11 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) โครงการที่ 2 ใช้แบ่งรับแสงสองด้านและปูพื้นหญ้า

[illegible]

ตารางที่ 4-12 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) โครงการที่ 3 ใช้แผนรับแสงสองด้านและปูพื้นทราย

[illegible]

ตารางที่ 4-13 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) โครงการที่ 4 ใช้แผนรับแสงสองด้านและปลูกพืชหินกรวด

[illegible]

ตารางที่ 4-16 อัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม (Incremental Internal rate of return) โครงการที่ 4 ใช้แสงรับแสงสองด้านและตู้พืชน้ำ

ปีของโครงการ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ล้านบาท)	(5.56)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (ล้านบาท)	0.00	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08
ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	-5.56	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08
รายได้ (ล้านบาท)	0.00	2.25	2.20	2.33	2.35	2.37	2.51	2.53	2.55	2.70	2.72	2.75	2.91	2.94	2.96	3.14	3.17	3.20	3.39	3.43	3.46	3.67	3.71	3.75	3.97	4.01
รายได้-ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	(5.56)	2.32	2.28	2.41	2.42	2.44	2.58	2.60	2.62	2.77	2.80	2.82	2.98	3.01	3.04	3.22	3.25	3.28	3.47	3.50	3.54	3.75	3.78	3.82	4.05	4.09
Incremental IRR																										



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเปรียบเทียบโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน ด้วยระบบติดตามแสงอาทิตย์ เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตไฟ จากการเปลี่ยนวัสดุบุพื้นได้แสง ได้แก่ พื้นทราย และ หินกรวด เพื่อช่วยการสะท้อน พบว่าเมื่อทำการจำลองผลผลิตไฟทั้ง 4 โครงการผ่านโปรแกรม PVsyst ได้แก่

1.โครงการที่ 1 ใช้แผงแบบทั่วไป พื้นได้แสงเป็นพื้นหญ้า มีผลการผลิตไฟตลอดอายุโครงการ 193,907 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วย 1.25 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal rate of return) 15.82%

2.โครงการที่ 2 ใช้แผงแบบรับแสงสองด้าน พื้นที่ได้แสงเป็นพื้นหญ้า (ค่าการสะท้อน 0.2) มีผลการผลิตไฟตลอดอายุโครงการ 207,348 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วย 1.19 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal rate of return) 16.48%

3.โครงการที่ 3 ใช้แผงแบบรับแสงสองด้าน พื้นที่ได้แสงเป็นพื้นทราย (ค่าการสะท้อน 0.3) มีผลการผลิตไฟตลอดอายุโครงการ 211,129 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วย 1.17 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal rate of return) 16.71%

4.โครงการที่ 4 ใช้แผงแบบรับแสงสองด้าน พื้นที่ได้แสงเป็นพื้นหินกรวด (ค่าการสะท้อน 0.4) มีผลการผลิตไฟตลอดอายุโครงการ 214,864 เมกะวัตต์-ชั่วโมง ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วย 1.15 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal rate of return) 17.04%

เปรียบเทียบโครงการโดยใช้โครงการที่ 1 เป็นโครงการตัวอย่างในการเปรียบเทียบ ด้วยวิธีการหาอัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม (Incremental internal rate of return) ผลจากการศึกษาพบว่า

โครงการที่ 2 ใช้แผงแบบรับแสงสองด้าน พื้นที่ได้แสงเป็นพื้นหญ้า มีอัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม 33.96%

โครงการที่ 3 ใช้แผงแบบรับแสงสองด้าน พื้นที่ได้แสงเป็นพื้นทราย มีอัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม 35.56%

โครงการที่ 4 ใช้แผงแบบรับแสงสองด้าน พื้นที่ได้แสงเป็นพื้นหินกรวด มีอัตราผลตอบแทนภายในส่วนเพิ่ม 41.87%

จึงสรุปได้ว่า โครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงประเภทรับแสงสองด้าน ที่ทำการป้อนด้วยหินกรวดนั้นมียieldผลตอบแทนดีที่สุด แม้ว่าจะมีเงินลงทุนสูงที่สุด และโครงการสามารถผลิตไฟฟ้าได้รองลงมาคือโครงการที่ป้อนด้วยพื้นทราย และพื้นหญ้า และโครงการที่ใช้แผงทั่วไปมียieldผลตอบแทนน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ความสูงของโครงสร้างที่ใช้สำหรับติดตั้งแผงที่ต่ำเกินไป อาจมีผลให้วัสดุปูพื้นแผ่รังสีความร้อนถึงแผงได้ ซึ่งส่งผลให้แผงมีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำลง
2. การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาถึงรายละเอียดและปริมาณของฝุ่นละอองที่มากขึ้นในสถานที่จริงของ โครงการที่ใช้วัสดุปูพื้นด้วยทรายและหินกรวด
3. การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ศึกษาในส่วนเงินประกันภัยที่เพิ่มขึ้นกรณีโครงการที่ปูพื้นด้วยวัสดุหินกรวด หากมีเหตุการณ์ เช่น การตัดหญ้าแล้วมีหินกระเด็นไปโดนแผงซึ่งอาจเกิดความเสียหายได้



บรรณานุกรม

1. investigation, C.s. Energy: The Driver of Climate. 2021 19/10/21 [cited 2021 22/10].
2. Living, F.S.P.G. What's Monofacial and Bifacial. [cited 2021 10/09]; Available from: https://www.futuresolarpv.com/blog/what-s-monofacial-and-bifacial_b4.
3. Kopecek, R. and J. Libal, Bifacial Photovoltaics 2021: Status, Opportunities and Challenges. Energies, 2021. **14**(8): p. 2076.
4. Talesun. Bifacial modules: The challenges and advantages. [cited 2021 10/09]; Available from: <https://www.talesun-solar.com/focus-on-bifacial-modules/>.
5. Verm, B.D., A Review Paper on Solar Tracking System for Photovoltaic Power Plant. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2020. **9**(2): p. 160-166.
6. M.Ibrahim, I.S., Ahmed & Shahata, Ali & Abbassy, Mohamed, Performance analysis of 10MWp grid-connected photovoltaic system in the Mediterranean climate using PVsyst software. International Journal of Smart Grid and Clean Energy, 2021. **10**(4): p. 286-291.
7. Gul, M., et al., Enhancement of Albedo for Solar Energy Gain with Particular Emphasis on Overcast Skies. Energies, 2018. **11**(11): p. 2881.
8. Pisello, A.L., et al., Experimental Analysis of Natural Gravel Covering as Cool Roofing and Cool Pavement. Sustainability, 2014. **6**(8): p. 4706-4722.
9. Brennan, M.P.A., Augusta & Andrews, Rob & Pearce, Joshua, Effects of Spectral Albedo on Solar Photovoltaic Devices. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2020. **9**(2): p. 160-166.
10. Ketjoy, P.D.a.N., Analysis of investment models for megawatt scale photovoltaic power plant in Thailand. Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology, 2018. **14**(1): p. 16-31.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พิมพ์พร โกพล
วัน เดือน ปี เกิด	16 มีนาคม 2536
สถานที่เกิด	นครพนม
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ที่อยู่ปัจจุบัน	202 หมู่ 7 ตำบลโพนแพง อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม 48110

